

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160631

豆攀, 李孝东, 孔凡磊, 王兴龙, 马晓君, 张嘉莉, 袁继超. 播期对川中丘区玉米干物质积累与产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 221–229

Dou P, Li X D, Kong F L, Wang X L, Ma X J, Zhang J L, Yuan J C. Effect of sowing date on dry matter accumulation and yield of maize in hilly regions of Sichuan Province, China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(2): 221–229

播期对川中丘区玉米干物质积累与产量的影响^{*}

豆攀¹, 李孝东², 孔凡磊¹, 王兴龙¹, 马晓君¹, 张嘉莉¹, 袁继超^{1**}

(1. 四川农业大学农学院 温江 611130; 2. 中江县农业局 中江 618100)

摘要: 以川中丘区主推玉米品种‘正红 505’和‘成单 30’为材料, 15 d 为间隔, 从 3 月 26 日至 5 月 25 日设置 5 个播期, 研究播期对川中丘区玉米干物质积累与产量的影响, 以期为本区域玉米的适期播种提供理论依据。结果表明, 随播期推迟, 玉米的生育期尤其是播种到吐丝期缩短, 吐丝后干物质积累量及其对产量的贡献减少, 收获指数降低; 早播有利于增加花后干物质积累, 晚播的产量形成需要更多地调运花前积累的光合产物; ‘正红 505’的产量随播期推迟而降低, ‘成单 30’的产量随播期推迟先略升高后降低, 早夏播(5 月 10 日播种)与春播(4 月 10 日)玉米产量差异不显著, 但夏播(5 月 25 日播种)与‘正红 505’一样因生育期缩短、干物质积累减少、收获指数降低而较春播显著减产; 早春播‘正红 505’产量较‘成单 30’高, 夏播‘成单 30’产量高于‘正红 505’, 表明‘成单 30’耐夏播能力较‘正红 505’强。播期对‘正红 505’干物质积累和产量及其构成因素的影响程度较‘成单 30’大, 生产上更应注意适期播种。该地区春播适宜的播期相对较宽, 生产上应解决耕作制度与机械化生产的矛盾; 夏播应注重耐夏播品种的选择, 并争取在 5 月中上旬完成播种。

关键词: 玉米; 播期; 生育时期; 干物质积累与分配; 转运; 产量

中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2017)02-0221-09

Effect of sowing date on dry matter accumulation and yield of maize in hilly regions of Sichuan Province, China^{*}

DOU Pan¹, LI Xiaodong², KONG Fanlei¹, WANG Xinglong¹, MA Xiaojun¹, ZHANG Jiali¹, YUAN Jichao^{1**}

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China;

2. Agricultural Bureau of Zhongjiang County, Zhongjiang 618100, China)

Abstract: The main maize varieties (‘Zhenghong 505’ and ‘Chengdan 30’) were sowed at 5 dates with 15-day intervals from March 26th to May 25th in hilly regions of Central Sichuan Basin to investigate the effects of different sowing dates on the dry matter accumulation and yield of maize. The study also aimed at providing the theoretical basis for the selection of appropriate sowing date of maize in the hilly regions of Central Sichuan Basin. The results showed that with delayed sowing date, the growth period (especially the period from seeding to spinning) shortened, dry matter accumulation and its contribution to yield decreased after spinning and harvest index decreased. However, early sowing increased dry matter accumulation after

^{*} 公益性行业(农业)科研专项经费(201503127)、国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD04B13)、粮食丰产增效科技创新(2016YFD0300307)和四川省玉米产业技术体系岗位专家项目

^{**} 通讯作者: 袁继超, 主要从事作物高产优质高效栽培技术研究。E-mail: yuanjichao5@163.com

豆攀, 主要从事作物高产优质高效栽培技术研究。E-mail: 1024847224@qq.com

收稿日期: 2016-07-15 接受日期: 2016-11-22

^{*} This work was supported by the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of China (201503127), the National Key Technologies R&D Program of China (2012BAD04B13), the Science and Technology Innovation of High Grain Yield and Efficiency (2016YFD0300307), and the Sichuan Province Corn Industry Technical System Post Expert Project.

^{**} Corresponding author, E-mail: yuanjichao5@163.com

Received Jul. 15, 2016; accepted Nov. 22, 2016

flowering. Yield formation in late sowing needed more allocation and transport of accumulated photosynthate before flowering. The yield of 'Zhenghong 505' maize variety decreased with delayed sowing date, while, the yield of 'Chengdan30' slightly increased firstly and then decreasing with delayed sowing. There was no significant reduction in yield of early summer maize 'Chengdan30' sown on May 10 and spring maize sown on April 10. However, compared with spring maize, yield of summer 'Chengdan30' maize sown on May 25 decreased due to shortened growth period, low dry matter accumulation and low harvest index. For early spring sowing, yield of 'Zhenghong 505' maize variety was generally higher than that of 'Chengdan 30' maize variety. For summer maize, however, yield of 'Chengdan 30' maize variety was higher than that of 'Zhenghong 505' maize variety. This suggested that 'Chengdan 30' maize variety had a stronger vigor under summer sowing than 'Zhenghong 505' maize. Sowing date had greater effect on dry matter accumulation, yield and yield components of 'Zhenghong 505' maize than on 'Chengdan 30' maize. This indicated that a close attention should be paid to sowing date in maize cultivation. In the hilly regions of Central Sichuan Basin, the suitable sowing date range of spring maize was relatively wide, implying that the production obstacle was rather the contradiction between farming system and mechanized production. More attention should be paid to summer sowing in terms of selection of crop variety and sowing date, which should end by mid-April or early May.

Keywords: Maize; Sowing date; Growth stage; Dry matter accumulation and distribution; Transport; Yield

播期是影响作物生产最主要的栽培因素之一,适宜的播期是实现作物高产的必要条件^[1]。播期对玉米(*Zea mays*)的影响是与生长发育期间光、热、水和土壤等生态因子综合作用的结果^[2-3],不同播期下玉米的生长发育和产量形成都会表现出较为显著的差异。研究表明,随着播期的推迟,玉米的生育期呈现显著缩短的趋势^[4];但产量的变化因生态条件的不同,或随播期推迟产量降低^[5-7],或随播期推迟产量先升高后降低^[8-9],表明玉米适宜的播期因生态区域和品种而异。而作物籽粒产量则是由生物产量即干物质积累的多少决定,干物质积累越多,籽粒产量也就越高^[10],因此研究不同播期下玉米干物质积累及其分配的差异有利于揭示播期影响玉米产量的物质基础。

川中丘区是四川省玉米的主产区,其播期受种植制度影响,从3月至6月均有播种。过去以套作春播(3—4月播种)为主,为了适应当前农业经营新形式和机械化生产需要,近年在适宜区域正在示范推广小麦(*Triticum aestivum*)、油菜(*Brassica campestris*)收获净作夏玉米(5月播种)种植模式。赵玉庭等^[11]研究表明,川中丘区玉米播期必须坚持把玉米需水关键期安排在夏旱结束之后、伏旱开始之前的过程降水较丰时段,即在3月底至4月中旬播种较适宜。但鲜见川中丘区夏玉米适宜播期方面的研究报道,也鲜见春玉米和夏玉米物质积累与产量构成差异方面的研究报道。本文以‘正红505’和‘成单30’为试验材料,以15 d为间隔,从3月26日至5月25日设置5个播期,通过长时间大跨度的试验,研究播期对玉米干物质生产与产量形成的影响,以期制定当地玉米适宜播期提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在四川省中江县合兴乡新建村(104°37'E, 30°35'N)进行,该地区2010年至2014年平均3—8月份日均温为21.8℃,总降雨量为714.7 mm;2015年3—8月的日均温为22.4℃,降水量为565.3 mm,较往年干旱少雨。试验期间的具体日均温和降水情况见图1。试验田播前耕层土壤养分含量分别为:有机质11.77 g·kg⁻¹,全氮1.47 mg·kg⁻¹,碱解氮42.93 mg·kg⁻¹,有效磷5.9 mg·kg⁻¹,速效钾117.56 g·kg⁻¹。

1.2 试验设计

供试品种为四川省农业厅推荐的主导品种‘正红505’和‘成单30’,‘正红505’由四川农业大学正红生物技术有限责任公司提供,‘成单30’由北京奥瑞金种业股份有限公司提供,两个品种生育进程基本一致(表1)。本试验设5个播期,分别为3月26日(早春播,A1)、4月10日(春播,A2)、4月25日(晚春播,A3)、5月10日(早夏播,A4)和5月25日(夏播,A5)。采用裂区设计,播期为主区,品种为副区,3次重复,共30个小区,小区面积17.6 m²(长5.5 m,宽3.2 m),行株距(110+50) cm×25 cm,密度4.95万株·hm⁻²,覆膜直播。所有处理底肥施复混肥料(有效含量40%,N:P:K=25:7:8),窄行中沟施肥,全生育期共施纯氮225 kg·hm⁻²,按底肥:穗肥=1:1施用,其他栽培管理措施同一般高产玉米田。

1.3 测定项目与方法

于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、吐丝后15 d和成熟期(具体取样时间见表1),每个小区取代表性植株5株,按器官分离,105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重后测定干物质重。收获前统计每小区有效

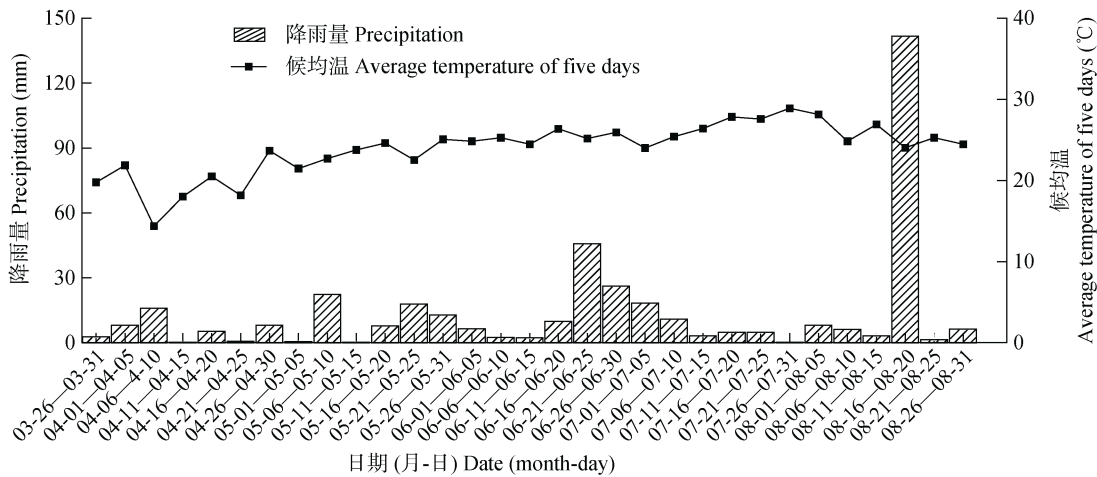


图 1 2015 年试验期间研究区玉米生育期候均温和降雨量变化

Fig. 1 Average temperature of five days and precipitation in the whole growth period of maize in the study area in 2015

表 1 玉米全生育期内各时期取样时间表

Table 1 Sampling schedule for each growth stage during the whole growth period of maize

生育时期 Growing stage	日期(月-日) Date (month-day)				
播种期 Sowing	03-26	04-10	04-25	05-10	05-25
出苗 Seedling emergence	04-02	04-16	05-01	05-15	05-30
拔节期 Jointing	05-09	05-22	05-31	06-14	06-26
吐丝期 Spinning	06-05	06-17	06-27	07-07	07-20
吐丝后 15 d Fifteen days after spinning	06-20	07-02	07-12	07-22	08-04
成熟期 Mature	07-23	08-05	08-15	08-24	08-31

穗数、空秆率和双苞率, 然后实收计产, 并按平均穗重法选取 20 穗考种, 考察穗长、穗粗、秃尖长、穗行数、行粒数、单穗重、穗粒重和千粒重。相关参数计算参考杨恒山等^[12]、戴明宏等^[13]的方法:

吐丝前干物质积累率(%)=吐丝期干物质积累量/收获时干物质积累量×100 (1)

吐丝后干物质积累量=收获时干物质积累量-吐丝期干物质积累量 (2)

吐丝后干物质积累率(%)=吐丝后干物质积累量/收获时干物质积累量×100 (3)

干物质转运量=吐丝期各器官干物质积累量-收获期相应器官干物质积累量 (4)

干物质转运效率(%)=干物质转运量/吐丝期营养器官积累量×100 (5)

吐丝前物质积累对产量的贡献率(%)=干物质转运量/籽粒产量×100 (6)

吐丝后物质积累对产量的贡献率(%)=100-吐丝前干物质积累对产量的贡献率 (7)

1.4 数据处理和统计分析

采用 Microsoft Excel 和 SPSS 19.0 软件进行图表制作和数据统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对玉米生育进程的影响

由表 2 可知, 播期对玉米生育进程影响显著。随着播期的推迟, 玉米各生育阶段持续时间及全生育期均缩短。播期推迟天数(X)与全生育期持续时间(Y)呈负相关关系, 回归方程为 $Y=122.15-0.35X$ ($R^2=0.9660$), 即播期每推迟 1 d, 生育期平均缩短 0.35 d, 本试验 A5 播期较 A1 播期玉米生育期缩短了 21 d。从各生育时期的持续时间来看, 随播期推迟, 各生育阶段均出现不同程度的缩短, 主要表现在出苗后的营养生长期和营养生长与生殖生长并进期, 变化范围为 0~10 d, 生殖生长期则相对稳定, 只有 A5 播期缩短了约 6 d。

2.2 播期对玉米干物质积累、分配与转运的影响

2.2.1 对单株干物质积累动态的影响

玉米干物质积累量是籽粒产量形成的物质基础^[1]。由图 2a、2b 可知, 两玉米品种不同播期下各生育时期单株干物质积累量存在显著差异, 但干物质积累变化动态的总体趋势基本一致, 符合 Logistic 生长曲线, 即慢—快—慢的变化动态(图 2c、2d)。^{‘正红 505’}的干物质积累量在大喇叭口期之前随播期推迟

表 2 不同播期下玉米各生育阶段持续时间的变化

Table 2 Comparison of durations of different growing stages of maize with different sowing dates

d

处理 Treatment	播期(月-日) Sowing date (month-day)	播种—出苗 Sowing— seedling emergence	出苗—拔节 Seedling emergence— jointing stage	拔节—吐丝 Jointing— spinning stage	吐丝—成熟 Spinning— mature stage	全生育期 Whole growth period
A1	03-26	8	37	27	48	120
A2	04-10	7	36	26	49	118
A3	04-25	7	30	27	49	113
A4	05-10	6	30	23	48	107
A5	05-25	6	27	24	42	99

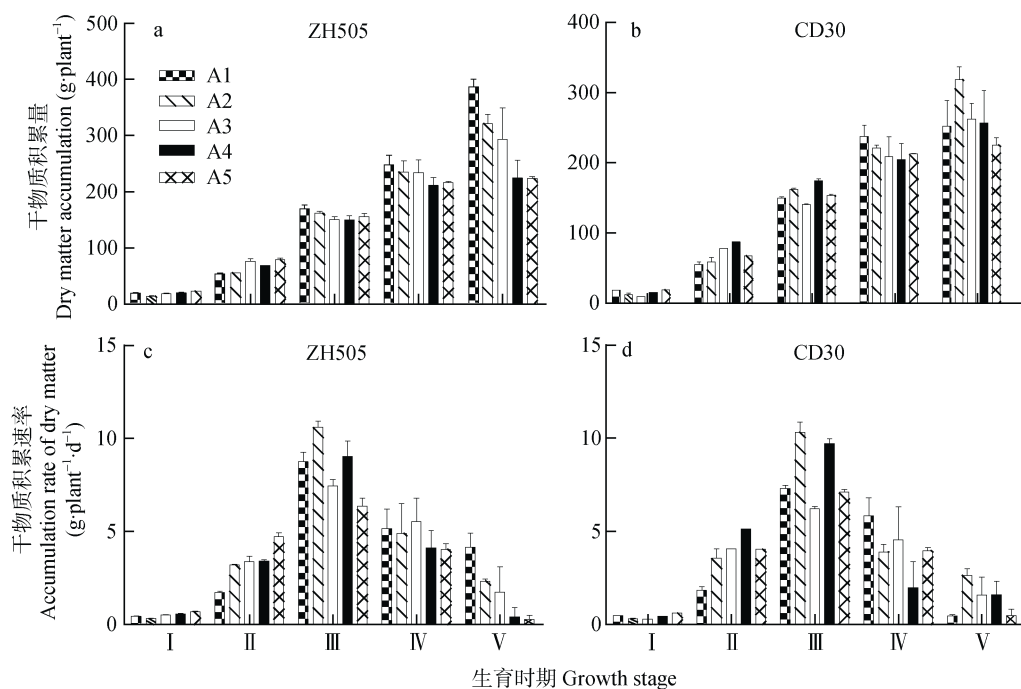


图 2 播期对玉米品种‘正红 505’(HZ505)和‘成单 30’(CD30)单株干物质积累动态的影响

Fig. 2 Effect of sowing date on dynamic changes of dry matter accumulation of maize varieties 'Zhenghong505' (ZH505) and 'Chengdan30' (CD30) at different growth stages

I、II、III、IV、V 分别代表拔节期、大喇叭口期、吐丝期、吐丝后 15 d 和成熟期; A1、A2、A3、A4 和 A5 分别代表 3 月 26 日播种、4 月 10 日播种、4 月 25 日播种、5 月 10 日播种、5 月 25 日播种 5 个播期。I, II, III, IV and V represent jointing stage, huge bell bottom stage, spinning stage, 15 days after spinning and mature stage of maize. A1, A2, A3, A4 and A5 represent five sowing dates of Mar. 26, Apr. 10, Apr. 25, May 10, May 25.

呈增加趋势;在大喇叭口期之后,则出现相反的变化趋势,即随播期的推迟,单株干物质积累量逐渐降低,且降低幅度随播期的推迟逐渐增大。‘成单 30’大喇叭口期后的单株干物质积累量随播期推迟呈先增后降的趋势。大喇叭口期和吐丝期以 A4 最高,吐丝 15 d 后以 A2 最高, A5 最低。成熟期干物质积累量随播期推迟两品种均表现为降低的趋势。干物质积累速率在吐丝期以前逐渐增大,在吐丝期达到最大,吐丝后积累速率逐渐减小。两品种随播期推迟,积累速率变化趋势基本一致,品种间差异明显,总体表现为‘正红 505’的积累速率略大于‘成单 30’。

2.2.2 对干物质分配的影响

玉米各器官干物质分配在不同时期表现出不同

趋势(表 3)。玉米干物质分配表现为:吐丝期,茎>叶>穗轴+苞叶;成熟期,籽粒分配最多,叶分配最少,其中籽粒占地上部干物质的比例为 36.17%~58.49%;茎鞘、叶和穗轴+苞叶部分的干物质分配均表现为吐丝期大于成熟期,表明玉米吐丝后干物质积累量主要分配在籽粒部分。

由表 3 可知,‘正红 505’和‘成单 30’成熟期茎鞘干物质分配随播期推迟表现为先降低后升高的趋势,叶和穗轴+苞叶分配比例则随播期推迟呈增加趋势。成熟期两品种玉米的籽粒分配比例随播期推迟变化不一致,‘正红 505’籽粒的干物质分配率随播期的推迟降低,与 A1 相比, A2-A5 的降低幅度依次为 9.3%、9.8%、30.4%和 43.4%;‘成单 30’籽粒的分配

表 3 播期对玉米品种‘正红 505’(HZ505)和‘成单 30’(CD30)吐丝期和成熟期干物质分配的影响
Table 3 Effect of sowing dates on dry matter distribution of maize varieties ‘Zhenghong505’ (ZH505) and ‘Chengdan30’ (CD30) at spinning and mature stages %

品种 Variety	播期 Sowing date	吐丝期 Spinning stage			成熟期 Mature stage			
		茎鞘 Stem-sheath	叶 Leaf	穗轴+苞叶 Bract + axis	茎鞘 Stem-sheath	叶 Leaf	穗轴+苞叶 Bract + axis	籽粒 Grain
ZH505	A1	45.44±1.04a	32.97±1.39a	21.58±0.43d	16.09±0.11b	11.15±1.06a	14.26±6.16b	58.49±6.53a
	A2	40.20±0.75b	34.97±0.64a	24.83±0.55c	15.23±1.60b	12.78±0.49a	18.95±4.64ab	53.03±2.55a
	A3	34.58±1.05c	32.65±0.90a	32.77±0.60a	15.79±2.00b	13.27±2.95a	18.16±15.79ab	52.78±11.05a
	A4	45.27±0.07a	26.37±1.18c	28.37±1.25b	24.53±3.07a	14.10±1.52a	20.66±0.17ab	40.72±4.29b
	A5	43.86±1.44a	28.56±2.18b	27.58±1.03b	21.62±0.47a	13.20±0.55a	32.08±0.52a	33.11±0.55b
CD30	A1	45.63±1.14ab	28.43±1.06c	25.95±0.41c	20.08±2.92ab	11.49±3.51a	16.86±12.91a	51.58±6.84a
	A2	47.06±0.71a	31.65±1.45b	21.30±0.74d	15.87±0.78bc	11.57±0.92a	18.29±4.99a	54.27±4.28a
	A3	32.83±0.85c	35.21±1.13a	31.96±0.28a	15.48±1.37c	12.97±1.54a	19.82±7.53a	51.73±5.55a
	A4	44.52±0.89b	29.25±0.77c	26.23±1.28c	23.34±3.42a	12.43±0.20a	18.98±0.35a	45.25±3.62ab
	A5	45.84±0.80ab	24.18±0.68d	29.97±0.24b	23.44±2.06a	12.96±0.30a	24.32±3.47a	39.28±2.63b
平均值 Average	A1	45.53±0.68a	30.70±0.85ab	23.77±0.40c	17.96±1.50b	11.16±2.28a	16.25±6.71c	54.63±3.97a
	A2	43.63±0.73a	33.31±1.01a	23.06±0.39c	15.52±0.87b	12.18±0.31a	18.63±0.64b	53.67±1.06a
	A3	33.71±0.11b	33.93±0.24a	32.36±0.35a	15.52±0.66b	12.89±0.80a	20.19±4.16b	51.40±2.75b
	A4	45.95±0.46a	27.28±0.33bc	26.77±0.77bc	23.63±2.77a	13.25±0.66a	19.81±0.14b	43.31±3.24c
	A5	44.95±1.11a	26.37±1.31c	28.77±0.41ab	22.51±0.84a	13.08±0.40a	28.25±1.48a	36.17±1.30d
ZH505		42.30±0.44a	30.89±0.78a	26.81±2.64a	18.56±2.01a	12.82±0.33a	21.28±1.06a	47.35±0.73a
CD30		43.18±0.25a	29.74±0.37a	27.08±2.02a	19.49±1.53a	12.21±0.23a	19.97±0.58a	48.33±0.43a

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。A1、A2、A3、A4 和 A5 分别代表 3 月 26 日播种、4 月 10 日播种、4 月 25 日播种、5 月 10 日播种、5 月 25 日播种 5 个播期。Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). A1, A2, A3, A4 and A5 represent five sowing dates on Mar. 26, Apr. 10, Apr. 25, May 10, May 25.

比例随播期推迟先升高后降低,且夏播(A4 和 A5 处理平均)低于春播(A1 和 A2 平均,这段时间为川中丘区最主要的春播时间)。两品种平均,夏播的籽粒分配率平均较正常春播低 14.4%,降幅达 26.6%。早播(A1 处理)‘正红 505’的收获指数较‘成单 30’高,而晚播(A4、A5 处理)则相反,表明晚播时‘成单 30’干物质向籽粒转运的能力较‘正红 505’强。两个品种平均,夏播籽粒分配率较正常春播低。

2.2.3 吐丝前后玉米干物质积累及对籽粒的贡献

由表 4 可以看出,除‘正红 505’的 A1 播期外,两个玉米品种在 5 个播期的干物质积累量和积累率均表现为吐丝前大于吐丝后,但对籽粒的贡献率则表现为吐丝后高于吐丝前。‘正红 505’吐丝前的干物质积累量总体与‘成单 30’持平,但吐丝后干物质积累量 A1-A3 播期较‘成单 30’高,而 A4 和 A5 播期则较‘成单 30’低。吐丝前干物质积累率及其对籽粒的贡献率 A1-A4‘成单 30’略高于‘正红 505’,但 A5 则相反。

播种期对两供试品种吐丝前和吐丝后的干物质积累量均有显著影响,其中对吐丝后的影响程度更高。‘正红 505’和‘成单 30’吐丝前、吐丝后干物质积累量在 5 个播种期间的变异系数分别为 4.4%和

8.2%、46.5%和 31.2%。吐丝前干物质积累量随播种期推迟呈先降后升的趋势;吐丝后干物质积累量(Y)随播种期(X)推迟逐渐降低,其回归方程分别为 $Y_{ZH5050}=207.4-2.517\ 1X$ ($R^2=0.949\ 7^{**}$)和 $Y_{CD30}=158.3-1.439\ 9X$ ($R^2=0.859\ 8^{*}$);相应地吐丝前干物质积累率及其对籽粒的贡献率随着播期的推迟而升高,吐丝后干物质积累率及其对籽粒的贡献率则随着播期的推迟而降低。由此表明,早播有利于增加花后干物质积累,晚播花后干物质积累量减少,灌浆结实需要更多地调运花前干物质,尤其是 A4 播期。在两个供试品种中,‘正红 505’吐丝后干物质积累量、积累率及其对籽粒的贡献率随播种期推迟而降低的速率大于‘成单 30’,因此该品种晚播时更应注意加强花后管理,防止早衰,增加花后干物质积累。

2.2.4 对玉米干物质转运的影响

从表 5 可以看出,播期对玉米营养器官物质的再分配利用也有显著影响,但影响的程度和趋势在品种间存在一定差异,品种和播期间存在显著互作效应。‘正红 505’茎、叶的转运量、转运率和转运量对籽粒的贡献率随播期推迟呈先升高再降低最后升高的趋势,各项指标基本以 A5 播期的最大。‘成单 30’茎、叶的转运量、转运率和转运量对籽粒的贡献

表4 吐丝前后玉米品种‘正红 505’(HZ505)和‘成单 30’(CD30)干物质积累及对籽粒的贡献

Table 4 Accumulation of dry matter and contribution rate to grain before and after spinning of maize varieties ‘Zhenghong505’ (ZH505) and ‘Chengdan30’ (CD30)

品种 Variety	播期 Sowing date	积累量 Accumulation of dry matter (g·plant ⁻¹)		积累率 Accumulation rate (%)		对籽粒贡献率 Contribution rate to grain (%)	
		吐丝前 Before spinning	吐丝后 After spinning	吐丝前 Before spinning	吐丝后 After spinning	吐丝前 Before spinning	吐丝后 After spinning
ZH505	A1	164.99±7.12a	214.33±3.65a	43.58±1.22b	56.42±1.22a	11.58±3.30b	88.42±3.30a
	A2	161.47±3.48ab	159.57±6.86ab	50.43±1.41b	49.57±1.41a	18.69±3.73b	81.31±3.73a
	A3	150.37±4.74bc	142.56±1.60b	52.57±0.66b	47.43±0.66a	11.80±3.67b	88.20±3.67a
	A4	149.36±7.71c	75.10±4.29c	67.26±1.08a	32.74±1.08b	25.19±10.01b	74.81±10.01a
	A5	155.43±5.66abc	67.78±2.46c	69.66±0.44a	30.34±0.44b	47.19±11.13a	52.81±11.13b
CD30	A1	150.73±1.85c	143.55±6.93a	51.22±1.45b	48.78±1.45a	16.91±4.37b	83.09±4.37a
	A2	162.22±1.82b	156.19±9.36a	51.07±1.68b	48.93±1.68a	23.81±6.68ab	76.19±6.68ab
	A3	140.78±1.19d	121.12±5.75ab	54.01±1.12b	45.99±1.12a	16.02±1.71b	83.98±1.71a
	A4	174.72±2.35a	82.25±8.62b	69.32±2.07a	30.68±2.07b	34.46±11.91a	65.54±11.91b
	A5	153.17±1.90c	72.53±2.85b	67.96±1.12a	32.04±1.12b	28.38±3.14ab	71.62±3.14ab
平均值 Average	A1	157.86±2.64b	178.94±5.28a	47.40±0.95d	52.60±0.95a	14.25±2.60d	85.76±2.60a
	A2	161.85±1.89a	157.88±5.11b	50.75±1.09c	49.25±1.09b	21.25±4.72c	78.75±4.72b
	A3	145.58±2.90d	131.84±3.50c	53.30±0.79b	46.71±0.79c	13.91±2.65d	86.09±2.65a
	A4	162.04±4.56a	78.68±6.34d	68.29±1.26a	31.71±1.26d	29.83±10.85b	70.18±10.85c
	A5	154.30±2.06c	70.16±2.65e	68.81±0.63a	31.19±0.63d	37.79±4.65a	62.22±4.65d
ZH505		156.32±3.04a	131.87±0.42a	56.70±0.56a	43.30±0.54a	22.89±2.48a	77.11±2.48a
	CD30	156.32±1.15a	115.13±2.01b	58.72±0.56a	41.28±0.54a	23.92±2.18a	76.08±2.18a

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。A1、A2、A3、A4 和 A5 分别代表 3 月 26 日播种、4 月 10 日播种、4 月 25 日播种、5 月 10 日播种、5 月 25 日播种 5 个播期。Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). A1, A2, A3, A4 and A5 represent five sowing dates on Mar. 26, Apr. 10, Apr. 25, May 10, May 25.

表5 播期对玉米品种‘正红 505’(HZ505)和‘成单 30’(CD30)干物质转运的影响

Table 5 Effect of different sowing dates on dry matter transport of maize varieties ‘Zhenghong505’ (ZH505) and ‘Chengdan30’ (CD30)

品种 Variety	播期 Sowing date	转运量 Amount of translocation (g·plant ⁻¹)			转运率 Translocation ratio (%)			贡献率 Contribution ratio (%)		
		茎 Stem	叶 Leaf	茎+叶 Stem + leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎+叶 Stem + leaf	茎 Stem	叶 Leaf	茎+叶 Stem + leaf
ZH505	A1	13.99±6.69ab	12.03±3.53ab	26.01±9.05ab	18.31±7.60	22.20±6.86	19.97±6.37	6.21±2.64	5.37±1.22	11.58±3.30
	A2	16.15±4.29ab	15.48±2.77a	31.63±5.35ab	24.81±6.29	27.33±4.02	26.02±4.04	9.56±2.80	9.13±1.83	18.69±3.74
	A3	6.46±6.05b	11.30±0.80ab	17.75±5.26b	12.15±11.57	23.02±1.49	17.50±5.22	4.29±4.02	7.51±0.53	11.80±3.67
	A4	16.00±7.04ab	6.29±0.31b	22.29±7.13ab	22.51±9.23	16.79±2.40	20.67±7.17	18.18±9.25	7.01±1.16	25.19±10.02
	A5	19.88±3.88a	15.01±6.03a	34.89±8.36a	29.08±4.85	33.09±9.60	30.80±6.04	26.91±5.34	20.28±7.99	47.19±11.13
CD30	A1	18.46±3.52b	14.47±6.95ab	32.93±5.62ab	26.88±4.46	33.60±14.81	29.61±4.89	14.36±2.74	11.26±5.41	25.62±4.37
	A2	25.90±1.74a	14.40±4.76ab	40.30±5.79a	33.91±1.70	28.03±9.17	31.57±4.52	15.17±2.75	8.64±4.05	23.81±6.68
	A3	12.12±0.29c	15.83±2.53ab	27.87±2.73b	26.72±1.06	31.84±4.13	29.39±2.56	9.17±0.23	11.74±1.71	20.91±1.71
	A4	18.87±0.91b	19.17±5.60a	38.04±4.79a	24.25±0.37	37.54±11.13	29.56±4.23	16.66±3.39	17.80±8.55	34.46±11.91
	A5	17.43±4.52b	7.79±0.80b	25.22±3.95b	24.74±6.01	21.06±2.52	23.48±3.34	19.55±4.24	8.84±1.29	28.38±3.14
平均值 Average	A1	16.23±1.97c	13.25±5.14abc	29.47±5.22b	22.60±2.03	27.90±10.47	24.79±4.30	10.29±1.66	8.32±3.88	18.60±3.76
	A2	21.03±2.91a	14.94±3.75a	35.97±5.07a	29.36±3.45	27.68±6.41	28.80±3.69	12.37±3.57	8.89±3.82	21.25±6.36
	A3	9.29±3.11d	13.57±1.09ab	22.81±4.12c	19.44±6.17	27.43±1.70	23.45±3.89	6.73±4.01	9.63±0.54	16.36±4.48
	A4	17.44±3.14bc	12.73±2.70bc	30.17±5.11b	23.38±4.29	27.17±7.42	25.12±4.99	17.42±10.89	12.41±5.33	29.83±15.82
	A5	18.66±2.56b	11.40±3.36c	30.06±2.98b	26.91±3.10	27.08±6.62	27.14±2.31	23.23±5.32	14.56±8.61	37.79±10.13
ZH 505		14.5±1.34a	12.02±1.13a	26.51±1.69b	21.37±1.98	24.49±2.04	22.99±1.78	13.03±2.17	9.86±1.46	22.89±2.48
	CD 30	18.56±0.21a	14.33±0.98a	32.87±0.94a	27.30±0.08	30.41±2.47	28.72±0.98	14.98±0.60	11.65±1.59	26.64±2.18

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。A1、A2、A3、A4 和 A5 分别代表 3 月 26 日播种、4 月 10 日播种、4 月 25 日播种、5 月 10 日播种、5 月 25 日播种 5 个播期。Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). A1, A2, A3, A4 and A5 represent five sowing dates on Mar. 26, Apr. 10, Apr. 25, May 10, May 25.

率随播期呈不规则变化, 总的转运量和转运率以 A2 最大, 贡献率以 A4 最大。玉米籽粒主要由吐丝后的同化产物和营养器官的物质转移提供^[14]。分析两个品种的干物质转运可以发现, ‘正红 505’的转运量、转运率和对籽粒的贡献率均低于‘成单 30’, 说明相比较而言, ‘成单 30’籽粒的来源更多依靠营养器官的物质转移, 而‘正红 505’籽粒的来源更多依靠吐丝后的同化产物。

2.3 播期对玉米产量及其构成因素的影响

播期显著影响两品种的产量, 但影响趋势和程度在品种间存在较大差异(表 6)。从影响程度看, ‘正红 505’的产量受播期影响的程度较‘成单 30’高, ‘正红 505’和‘成单 30’的产量在 5 个播期间的变异系数分别为 38.2%和 20.9%。从影响趋势来看, ‘正红 505’的产量(Y)随播期(X)推迟而降低, 二者显著负相关,

回归方程为 $Y=7\ 815.3-83.96X$ ($R^2=0.970\ 4^{**}$), 播期每推迟 1 d, 产量降低约 84 kg·hm⁻²; ‘成单 30’的产量随播期推迟而先增后减, 以 4 月 10 日播种(A2)最高, 之后也随播期推迟而减产, 但在 5 月 10 日(A4 处理)前播种减产幅度较小, 之后播种就会大幅度减产, 表明‘成单 30’可以夏播, 但最好在 5 月 10 日前后播种, 过晚播种会大幅度减产。

播期对产量构成因素的影响因品种而异, ‘正红 505’和‘成单 30’有效穗数随播期推迟呈减少的趋势; ‘正红 505’的穗长、穗行数、行粒数以及千粒重随播期推迟也呈降低的趋势, 导致产量随之降低; ‘成单 30’的千粒重也随播期推迟而降低, 穗长和行粒数随播期推迟呈先升后降的趋势(A3 处理的行粒数例外), 而穗行数受播期的影响较小, 表明播期主要是影响‘成单 30’的穗长和粒重从而影响产量。

表 6 播期对玉米品种‘正红 505’(HZ505)和‘成单 30’(CD30)产量及其构成因素的影响

Table 6 Effect of sowing dates on grain yield and its components of maize varieties ‘Zhenghong505’ (ZH505) and ‘Chengdan30’ (CD30)

品种 Variety	播期 Sowing date	有效穗数 Ear number (ear·hm ⁻²)	穗长 Ear length (cm)	穗行数 Row number per ear	行粒数 Grain number per row	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg·hm ⁻²)
ZH505	A1	5.05±0.28a	19.62±1.15a	20.25±0.68a	35.87±3.23a	276.37±6.02a	7 593.44±203.96a
	A2	4.60±0.21ab	21.37±1.35a	19.50±0.30a	34.70±1.24a	255.00±22.25b	6 450.67±564.36b
	A3	4.88±0.03a	19.32±0.48a	19.23±0.51ab	23.27±1.64c	255.10±21.56b	5 816.52±889.85b
	A4	4.62±0.46ab	16.53±1.70b	18.97±1.75ab	30.07±3.46b	159.87±8.10d	4 199.17±626.06c
	A5	4.21±0.15b	13.86±0.22c	17.63±0.58b	22.50±1.42c	196.47±11.79c	2 421.86±201.41d
CD30	A1	4.93±0.30a	16.19±0.79c	16.09±0.81a	21.73±5.87b	304.43±21.11a	5 559.74±455.83a
	A2	4.58±0.34a	20.95±0.04a	17.43±0.39a	36.33±2.24a	287.17±17.49ab	6 666.05±1178.43a
	A3	4.53±0.05a	20.52±0.75ab	17.47±0.25a	21.97±1.78b	271.60±12.41bc	5 868.60±650.73a
	A4	4.80±0.26a	18.96±1.70b	16.77±1.63a	30.57±5.59a	227.33±13.56d	5 885.15±851.13a
	A5	4.09±0.03b	15.85±0.39c	17.67±0.87a	19.77±1.49b	251.53±14.36cd	3 589.57±220.61b
平均值 Average	A1	4.99±0.09a	17.91±0.47b	18.17±0.28a	28.80±4.03b	290.40±13.54a	6 576.59±319.77a
	A2	4.59±0.18b	21.16±0.66a	18.47±0.33a	35.52±1.47a	271.09±18.58b	6 558.36±580.67b
	A3	4.71±0.04ab	19.92±0.20a	18.35±0.35a	22.62±0.75c	246.70±2.52c	5 842.56±411.62c
	A4	4.71±0.32ab	17.75±1.66b	17.87±1.61a	30.32±3.95b	193.60±10.52e	5 042.16±657.33d
	A5	4.15±0.07c	14.86±0.24c	17.65±0.58a	21.14±0.15c	224.00±7.98d	3 005.71±9.60e
ZH 505		4.67±0.14a	18.14±0.21a	19.12±0.69a	29.30±0.27a	221.90±3.48b	5 296.33±260.47b
	CD 30	4.59±0.08a	18.49±0.33a	17.09±0.40b	26.08±0.53b	268.40±3.24a	5 513.82±188.10a

不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。A1、A2、A3、A4 和 A5 分别代表 3 月 26 日播种、4 月 10 日播种、4 月 25 日播种、5 月 10 日播种、5 月 25 日播种 5 个播期。Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$). A1, A2, A3, A4 and A5 represent five sowing dates on Mar. 26, Apr. 10, Apr. 25, May 10, May 25.

3 讨论

作物产量与生物产量即群体干物质积累有直接关系^[15], 一般来说, 干物质积累越多, 籽粒产量也就越高^[16]。有研究表明, 播期推迟干物质积累量依次减小。也有研究表明, 春播条件下早播较晚播的

干物质积累量高^[17]。本研究中, 玉米群体干物质积累量随播期推迟总体呈降低趋势, 早播玉米干物质积累持续时间较长, 生育后期积累的速度加快, 且能维持较长时间, 从而得到更多的干物质积累; 而晚播的玉米生育期缩短, 生育进程加快, 干物质积累量减少。吐丝前、后的干物质积累量受播期的影

响程度在品种间存在差异,‘正红 505’吐丝后干物质积累量受播期的影响程度远大于吐丝前,早播更有利于增加吐丝后干物质积累;‘成单 30’吐丝前、后干物质积累量受播期的影响程度较小,但晚播不利于干物质的积累。

籽粒灌浆物质的来源分为两部分:一部分是开花后的同化产物,包括直接输送到籽粒中的光合产物和开花后形成的暂贮藏性干物质的再转移;一部分是开花前生产的暂贮藏于营养器官中、于灌浆期间再转移到籽粒中去的同化产物^[14]。研究表明,玉米籽粒产量主要来源于生育后期叶片制造的光合产物^[15],对籽粒的贡献率为 78%~84%。本研究结果显示,生育后期叶片制造的光合产物对籽粒的贡献率为 62.22%~86.09%,随着播期推迟呈降低趋势,说明晚播时籽粒灌浆主要依靠生育前期积累的干物质,尤其是‘正红 505’,因此晚播时应加强生育后期的管理,延缓其衰老,提高生育后期光合产物的积累,是提高其对籽粒的贡献率进而提高产量的重要措施。

适时播种有利于玉米各生育时期有更为适宜的雨热条件,使玉米产量达到最佳^[18],而产量的高低又与干物质积累的多少密切相关。本试验结果表明,播期显著影响两供试玉米品种的产量,但影响的程度和趋势在品种间存在一定差异,‘正红 505’的产量随播期推迟而降低,以第 1 播期(3 月 25 日播种)最高,夏播(A4 和 A5 处理平均)减产严重,较春播(A1、A2 和 A3 处理平均)减产 49.99%,表明该品种适宜春播,耐夏播能力较弱;‘成单 30’的产量随播期推迟呈先略升高后降低趋势,以第 2 播期(4 月 10 日播种)产量最高,早夏播(5 月 10 日)与春播产量差异不显著,但夏播(5 月 25 日播种)则显著减产,表明该品种适宜播期较长,耐夏播能力较强。

4 结论

本研究结果表明,川中丘陵地区玉米吐丝前、后干物质积累量及其对籽粒的贡献率以及产量受播期影响显著,选择适宜的播期是保证高产的前提。春播玉米的产量较高,适宜的播期范围相对较宽,目前生产上需要解决的是间套作(春播玉米大多为间套种植)与机械化生产的矛盾,应选择在成熟期籽粒脱水较快,且茎秆抗倒能力较强的品种。夏播具有更有利的生长环境,但夏播产量受制约因素较多,产量的降低幅度大于春播。对于需要夏播(在小麦或油菜后净作,便于机械化生产)的区域和地块,应注

意解决两方面的问题:一是选种,应选择耐夏播品种,如本试验的‘成单 30’;二是播种时间的选择,前茬作物收后及时早播,力争在 5 月上中旬播种,保证玉米生育后期有足够的干物质积累。

参考文献 References

- [1] 马国胜,薛吉全,路海东,等. 播种时期与密度对关中灌区夏玉米群体生理指标的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1247-1253
Ma G S, Xue J Q, Lu H D, et al. Effects of planting date and density on population physiological in dices of summer corn (*Zea mays* L.) in central Shaanxi irrigation area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1247-1253
- [2] 李挺,牛春丽,王淑惠. 播期对夏玉米阶段发育和产量性状的影响[J]. 安徽农业科学, 2005, 33(7): 1156-1158
Li T, Niu C L, Wang S H. Effect of sowing time on the summer maize development and yield[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33(7): 1156-1158
- [3] 刘培利,刘绍棣,东先旺,等. 高产夏玉米与播期关系的研究[J]. 玉米科学, 1993, 1(1): 23-26
Liu P L, Liu S D, Dong X W, et al. Relationship of maize yield and sowing date[J]. Maize Science, 1993, 1(1): 23-26
- [4] 路海东,薛吉全,郝引川,等. 播期对雨旱地春玉米生长发育及水分利用的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(12): 1906-1914
Lu H D, Xue J Q, Hao Y C, et al. Effects of sowing time on spring maize (*Zea mays* L.) growth and water use efficiency in rainfed dryland[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(12): 1906-1914
- [5] 吕丽华,董志强,曹洁璇,等. 播期、收获期对玉米物质生产及光能利用的调控效应[J]. 华北农学报, 2013, 28(S): 177-183
Lü L H, Dong Z Q, Cao J X, et al. Effects of planting and harvest date on matter production of summer maize and its utilization of solar and heat resource[J]. Acta Agriculturae Boreali Sinica, 2013, 28(S): 177-183
- [6] 田红琳,杨华,蒋志成,等. 播期与密度对重庆山区玉米性状及产量的影响研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15): 28-32
Tian H L, Yang H, Jiang Z C, et al. Effects of sowing date and density on characters and yield of maize in Chongqing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(15): 28-32
- [7] 贾萍,董秀春,宋金霞. 不同播期与密度对夏玉米生长发育及产量的影响[J]. 现代农业科技, 2015(13): 16
Jia P, Dong X C, Song J X. Effect of different sowing date and density on growth and yield of summer maize[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2015(13): 16
- [8] 肖尧,熊敏,丁成龙,等. 播期对高产春玉米产量及光合特性的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2014, 35(2): 65-71
Xiao Y, Xiong M, Ding C L, et al. Effects of sowing date on yield and photosynthetic characteristics of spring maize under high yield conditions[J]. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition, 2014, 35(2): 65-71

- [9] 李文科, 薛庆禹, 王靖, 等. 播期对吉林春玉米生长发育及产量形成的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(5): 81–86
Li W K, Xue Q Y, Wang J, et al. Effect of sowing date on the growth, development and yield formation of spring-maize in Jilin Province[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(5): 81–86
- [10] 黄振喜, 王永军, 王空军, 等. 产量 15 000 kg·ha⁻¹ 以上夏玉米灌浆期间的光合特性[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1898–1906
Huang Z X, Wang Y J, Wang K J, et al. Photosynthetic characteristics during grain filling stage of summer maize hybrids with high yield potential of 15 000 kg·ha⁻¹[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(9): 1898–1906
- [11] 赵玉庭, 刘述斌. 四川盆中丘陵旱区玉米高产播期研究[J]. 西南农业学报, 2000, 13(2): 39–45
Zhao Y T, Liu S B. A study on maize high-yield sowing date in the central hilly arid region of Sichuan basin[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2000, 13(2): 39–45
- [12] 杨恒山, 张玉芹, 徐寿军, 等. 超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 315–323
Yang H S, Zhang Y Q, Xu S J, et al. Characteristics of dry matter and nutrient accumulation and translocation of super-high-yield spring maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(2): 315–323
- [13] 戴明宏, 陶洪斌, 王利纳, 等. 不同氮肥管理对春玉米干物质生产、分配及转运的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 154–157
Dai M H, Tao H B, Wang L N, et al. Effects of different nitrogen managements on dry matter accumulation, partition and transportation of spring maize(*Zea mays* L.)[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008, 23(1): 154–157
- [14] Mackown C T, Van Sanford D A, Zhang N Y. Wheat vegetative nitrogen compositional changes in response to reduced reproductive sink strength[J]. Plant Physiology, 1992, 99(4): 1469–1474
- [15] 黄智鸿, 王思远, 包岩, 等. 超高产玉米品种干物质积累与分配特点的研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 95–98
Huang Z H, Wang S Y, Bao Y, et al. Studies on dry matter accumulation and distributive characteristic in super high-yield maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(3): 95–98
- [16] 刘伟, 张吉旺, 吕鹏, 等. 种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1301–1307
Liu W, Zhang J W, Lü P, et al. Effect of plant density on grain yield dry matter accumulation and partitioning in summer maize cultivar Denghai 661[J]. Acta Agronomica Sinica, 2011, 37(7): 1301–1307
- [17] 靳英华, 周道玮, 秦丽杰. 适应气候变化的吉林省半干旱区玉米播种期[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2795–2802
Jin Y H, Zhou D W, Qin L J. Sowing date of corn in semiarid region of Jilin Province, Northeast China in adapting to climate change[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(10): 2795–2802
- [18] 李潮海, 苏新宏, 谢瑞芝, 等. 超高产栽培条件下夏玉米产量与气候生态条件关系研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(3): 311–316
Li C H, Su X H, Xie R Z, et al. Study on relationship between grain-yield of summer corn and climatic ecological condition under super-high-yield cultivation[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2001, 34(3): 311–316